

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Desarrollo de un sistema HMI para el control de servomotores mediante el uso
de coordenadas de posicionamiento hexadecimal

INGE-2635

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Eduardo Daniel Villamarín Aucapiña

Miguel Ángel Calderón Mora

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi familia, la cuál ha sido un apoyo incondicional durante mis estudios. A mis amados padres, cuyo sacrificio y dedicación han sido mi motor para alcanzar este logro.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional y su fe en mí. Gracias por estar siempre conmigo.

Y, a mis queridos amigos, quienes gracias a sus enseñanzas y apoyo durante mis estudios han hecho de esta experiencia más agradable.

Eduardo Daniel Villamarín Aucapiña

Dedicatoria

A mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional en cada paso de este camino. A mi madre, por su amor infinito, su paciencia inagotable y sus sabias palabras que siempre han sido mi refugio en los momentos más difíciles. Tus consejos y tu fe en mí han sido fundamentales para llegar hasta aquí. A mi padre, por enseñarme la importancia del esfuerzo, la dedicación y la integridad, valores que han guiado mi vida y me han permitido superar los desafíos. Gracias por ser mi ejemplo de fortaleza y perseverancia.

Miguel Ángel Calderón Mora

Agradecimientos

Quiero agradecer en primera instancia a Dios, por permitirme llegar hasta aquí y, que a pesar de las adversidades que se presentaron durante mis estudios, me convirtió en una persona resiliente.

A la memoria de mi amada Chani pilar fundamental de mi hogar, cuyo apoyo incondicional y ejemplo de vida continúan siendo mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Este logro está dedicado a ti, con todo mi amor y gratitud eterna.

Y, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Jorge Chávez, cuyo conocimiento y apoyo han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo.

Eduardo Daniel Villamarín Aucapiña

Agradecimientos

Antes que nada, quiero agradecer a Dios, quien ha sido mi guía en cada paso que he dado. Gracias por darme la fortaleza y la claridad para superar los momentos difíciles y por iluminar mi camino.

A mis padres, mi mayor apoyo y motivación. Gracias por ser mi ejemplo de esfuerzo, dedicación y amor incondicional. Sus enseñanzas, paciencia y fe en mí han sido mi mayor fortaleza, incluso en los momentos en que yo mismo dudaba. Este logro es también suyo.

Al Ing. Jorge Chávez cuyo apoyo y guía fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y disposición para ayudarnos marcaron una gran diferencia en este camino.

Miguel Ángel Calderón Mora

Declaración Expresa

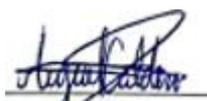
Nosotros Eduardo Daniel Villamarín Aucapiña y Miguel Ángel Calderón Mora /acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 15 de octubre del 2024.



Miguel Ángel
Calderón Mora



Eduardo Daniel
Villamarín Aucapiña

Evaluadores

Mgtr. Dennys Cortez Alvarez

Profesor de Materia

Mgtr. Alberto Larco

Tutor de proyecto

RESUMEN

EL PRESENTE PROYECTO TIENE COMO OBJETIVO DISEÑAR UN SISTEMA DE INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA (HMI) PARA EL CONTROL DE SERVOMOTORES, EMPLEANDO COORDENADAS DE POSICIONAMIENTO EN FORMATO HEXADECIMAL. SE PLANTEA QUE EL USO DE COORDENADAS HEXADECIMALES PERMITE UNA MAYOR EXACTITUD EN EL MOVIMIENTO DE LOS SERVOMOTORES, JUSTIFICANDO SU IMPLEMENTACIÓN EN SISTEMAS DONDE LA PRECISIÓN ES CRÍTICA. EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO SE UTILIZÓ UN PLC SIEMENS S7-1500, UNA PANTALLA HMI TP1200 COMFORT, UN SERVO ACCIONAMIENTO SINAMICS S120 Y EL SOFTWARE DOCK LIGHT PARA LA SIMULACIÓN DEL ENVÍO DE DATOS HEXADECIMALES. SE REALIZARON UNA SERIE DE PRUEBAS CON UN EJE VIRTUAL COMO CON UN SERVOMOTOR REAL FUERA DE SITIO, EN LAS CUALES SE CONFIGURARON FUNCIONES DE SECUENCIAS DE MOVIMIENTOS, MOVIMIENTO MANUAL (JOG), LÍMITES DE CARRERA, DETECCIÓN Y REINICIO DE FALLAS, Y UN PUNTO DE REFERENCIA, ASÍ COMO TAMBIÉN LOS CORRESPONDIENTES INDICADORES DE FUNCIONAMIENTO O DETECCIÓN DE FALLAS. LOS RESULTADOS MOSTRARON QUE EL SISTEMA LOGRÓ REALIZAR MOVIMIENTOS CON ALTA PRECISIÓN Y RESPUESTA EFICIENTE ENTRE EL HMI Y EL SERVOMOTOR. SE CONCLUYE QUE LA INTEGRACIÓN DE UN HMI CON CONTROL MEDIANTE COORDENADAS HEXADECIMALES ES UNA SOLUCIÓN VIABLE PARA MEJORAR LA PRECISIÓN EN APLICACIONES INDUSTRIALES.

PALABRAS CLAVE: SISTEMA DE MONITOREO, CONTROL INDUSTRIAL, POSICIONAMIENTO PRECISO, INTERFAZ GRÁFICA.

ABSTRACT

THE PRESENT PROJECT AIMS TO DESIGN A HUMAN-MACHINE INTERFACE (HMI) SYSTEM FOR THE CONTROL OF SERVOMOTORS USING HEXADECIMAL POSITIONING COORDINATES TO OPTIMIZE PRECISION AND EFFICIENCY IN INDUSTRIAL APPLICATIONS. IT IS PROPOSED THAT THE USE OF HEXADECIMAL COORDINATES ENABLES GREATER ACCURACY IN SERVOMOTOR MOVEMENTS, JUSTIFYING THEIR IMPLEMENTATION IN SYSTEMS WHERE PRECISION IS CRITICAL. DURING THE DEVELOPMENT OF THE PROJECT, A SIEMENS S7-1500 PLC, A TP1200 COMFORT HMI PANEL, A SINAMICS S120 SERVO DRIVE, AND DOCKLIGHT SOFTWARE WERE USED FOR THE SIMULATION OF HEXADECIMAL DATA TRANSMISSION. A SERIES OF TESTS WERE CONDUCTED BOTH WITH A VIRTUAL AXIS AND WITH AN OFF-SITE REAL SERVOMOTOR, CONFIGURING FUNCTIONS SUCH AS MOTION SEQUENCES, MANUAL MOVEMENT (JOG), TRAVEL LIMITS, FAULT DETECTION AND RESET, AND A "SET HOME" REFERENCE POINT. ADDITIONALLY, OPERATIONAL AND FAULT DETECTION INDICATORS WERE IMPLEMENTED. THE RESULTS SHOWED THAT THE SYSTEM ACHIEVED HIGH PRECISION MOVEMENTS AND EFFICIENT RESPONSE BETWEEN THE HMI AND THE SERVOMOTOR. IT IS CONCLUDED THAT INTEGRATING AN HMI WITH CONTROL THROUGH HEXADECIMAL COORDINATES IS A VIABLE SOLUTION FOR IMPROVING PRECISION IN INDUSTRIAL APPLICATIONS.

KEYWORDS: *MONITORING SYSTEM, INDUSTRIAL CONTROL, PRECISE POSITIONING, GRAPHICAL INTERFACE.*

Índice General

RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
Abreviaturas	XI
Simbología	XII
Índice de figuras.....	XIII
Índice de tablas	XV
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Descripción del Problema.....	2
1.3 Justificación del Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Servosistemas.....	5
1.5.4 Servo accionamiento (Servo drivers)	7
1.5.5 Sistema de periferia descentralizada ET200eco PN	8
1.5.6 Sensores	9
1.5.7 Protocolo de Comunicación Profinet	10
1.5.8 Entorno de Programación.....	11
1.5.9 Control de movimiento (Motion Control).....	11
Capítulo 2.....	12
2. Metodología.....	12
2.1 Diseño de la solución.....	12
2.2 Datos técnicos de componentes seleccionados.....	13

2.3	Diagrama de conexiones del Slip Ring	15
2.4	Secuencia de funcionamiento en el modo remoto	16
2.5	Fase de simulación	17
2.5.1	Bloques de control de movimiento (Motion Control).....	17
2.5.2	Creación de interfaz HMI preliminar	19
2.6	Comunicación industrial entre los equipos.....	22
2.7	Interfaz de usuario	24
Capítulo 3.....		25
3.	Resultados y Análisis	25
3.1	Pruebas en eje virtual	25
3.2	Pruebas en eje real fuera de sitio.....	30
3.2.1	Descripción de la configuración base para el control del servomotor	30
3.2.2	Pruebas realizadas con el servomotor fuera de sitio	31
3.2.3	Observaciones en el desempeño.....	34
3.3	Pruebas remotas con el software Dock light	35
3.4	Análisis de costos	36
3.5	Problemas y limitaciones.....	38
Capítulo 4.....		39
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	39
4.1	Conclusiones	39
4.2	Recomendaciones.....	40
Referencias.....		41
Apéndice.....		43

Abreviaturas

CU	Unidad de control (Control Unit).
ET200eco	Periferia descentralizada.
HMI	Interfaz Hombre-Máquina (Human-Machine Interface).
PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller).
S7-1500	Modelo de PLC de Siemens.
TIA	Totalmente Integrado en Automatización (Totally Integrated Automation).

Simbología

A	Amperios
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Continua
DIQ	Calidad de Entrada Digital
MB	Byte de Memoria
PI	Profinet International
V	Voltaje

Índice de figuras

<i>Ilustración 1 Servosistema [3]</i>	5
<i>Ilustración 2 PLC S7-1500 [5]</i>	6
<i>Ilustración 3 Servo Accionamiento S120 [7]</i>	7
<i>Ilustración 4 ET200eco PN [8]</i>	8
<i>Ilustración 5 Sensor inductivo [9]</i>	9
<i>Ilustración 6 Protocolo Profinet [11]</i>	10
<i>Ilustración 7 Servosistema s120 implementado</i>	13
<i>Ilustración 8 Conexionado del Slip Ring</i>	16
<i>Ilustración 9 Proceso de modo remoto</i>	16
<i>Ilustración 10 Bloque FB principal</i>	17
<i>Ilustración 11 Bloque MOVEJOG</i>	18
<i>Ilustración 12 Bloques secuenciales</i>	19
<i>Ilustración 13 Evento Switch On/OFF para habilitación del eje</i>	19
<i>Ilustración 14 Evento reinicio de eje</i>	20
<i>Ilustración 15 Evento Home</i>	20
<i>Ilustración 16 Evento JogBackward</i>	20
<i>Ilustración 17 Evento JogForward</i>	20
<i>Ilustración 18 Bit de palabra de estado</i>	21
<i>Ilustración 19 Interfaz gráfica de usuario</i>	22
<i>Ilustración 20 Arquitectura de red</i>	22
<i>Ilustración 21 Arquitectura del Servosistema S120</i>	23
<i>Ilustración 22 Interfaz HMI principal</i>	24
<i>Ilustración 23 Prueba Funcionamiento set HOME</i>	26
<i>Ilustración 24 Prueba de alertas visuales y límite inferior alcanzado</i>	27
<i>Ilustración 25 Prueba de alertas visuales y límite superior alcanzado</i>	28
<i>Ilustración 26 Primeros tres pasos de la prueba de movimiento absoluto</i>	30
<i>Ilustración 27 Últimos dos pasos de la prueba de movimiento absoluto.</i>	30
<i>Ilustración 28 Referenciado del eje físico</i>	32
<i>Ilustración 29 Control Manual del eje</i>	33
<i>Ilustración 30 Retroceso del eje</i>	33
<i>Ilustración 31 Accionamiento del servomotor</i>	34
<i>Ilustración 32 Comunicación entre PLC y software Dock light</i>	35

<i>Ilustración 33 Selección de Modo a operar.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 34 Pantalla del modo Remoto.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 35 Pantalla del modo Local.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 36 Pantalla de parámetros del modo Local</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 37 Hoja de información técnica de unidad de control de CU320-2PN</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 38 Hoja de información técnica del módulo de redundancia de alimentación ...</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 39 Hoja de información técnica de periferia descentralizada ET200 eco</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 40 Hoja de información técnica de la pantalla HMI</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 41 Hoja de información técnica del módulo de línea para el servomotor</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 42 Hoja de información técnica de módulo de línea activa.....</i>	<i>50</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Descripción de equipos</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2 Costos aproximados de los equipos seleccionados</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3 Costos aproximados de los equipos seleccionados</i>	<i>37</i>

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

La capacidad productiva de cualquier industria depende de las máquinas herramientas y los sistemas de control empleados [1]. Es por esto por lo que la automatización industrial ha ido evolucionando a lo largo de los últimos años, siendo impulsada por la necesidad de incrementar la eficiencia, la precisión y la disminución de recursos. Los servosistemas son una parte crucial en la mejora de los procesos ya que permiten un control preciso en la posición y velocidad en diversas aplicaciones industriales. La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es crucial para lograr una interacción perfecta entre el usuario y el sistema de control, asegurando así, un monitoreo y ajuste de parámetros de manera eficiente y segura. Dentro del contexto de este proyecto se va a desarrollar un sistema HMI para el control de un servosistema mediante el uso de coordenadas de posicionamiento para disminuir los errores de comunicación y optimizar el rendimiento del sistema ya que la codificación hexadecimal tiene una gran capacidad para gestionar una enorme cantidad de datos en un formato reducido, permite un manejo eficiente y una transmisión de datos rápida y confiable. Esta rápida y eficiente respuesta por parte de un sistema como el que se plantea tiene una alta relevancia en aplicaciones donde se requiere un tiempo de respuesta mínimo y una alta precisión de posicionamiento.

1.2 Descripción del Problema

La integración de un sistema para el control preciso de servomotores es crucial para mejorar la eficiencia y exactitud en el posicionamiento de objetos. Este tipo de control es ampliamente necesario en sectores industriales tales como, la manufactura, robótica, y el ensamblaje de piezas automatizado, donde los servomotores requieren realizar movimientos exactos, milimétricos o precisos en entornos tridimensionales. Sin embargo, el reto que se presenta para este tipo de trabajos es asegurar que exista una sincronización precisa de los movimientos de múltiples ejes.

Además, la implementación de un sistema de seguimiento de posición en tiempo real para asegurar que los objetos se posicionen en la ubicación objetivo con un grado de precisión alto, de acuerdo con coordenadas preestablecidas, representa un desafío, puesto a que cualquier error o desfase en los movimientos o una falla en la comunicación puede comprometer todo el sistema.

1.3 Justificación del Problema

En este proyecto, se va a utilizar tecnología de la marca SIEMENS junto con el software TIA PORTAL para desarrollar un programa que controle el posicionamiento de dos servosistemas. El principal objetivo es lograr una precisión y eficiencia óptima en el movimiento de los ejes de los servomotores, asegurando que los movimientos se realicen dentro de los límites predefinidos con la mayor exactitud posible. Para esto, se empleará un PLC SIEMENS, el cual será el encargado de gestionar los algoritmos de control de movimiento a través de bloques de programación como Poder, Reset, Home y Move Absolute. Estos bloques se configurarán adecuadamente para garantizar que las secuencias de posicionamiento se ejecuten correctamente.

Además, se integrará una interfaz HMI que no solo permitirá visualizar el estado de los servos, sino que también brindará la opción de modificar y monitorear las posiciones de los ejes en tiempo real. Con esta interfaz, el operador podrá manejar los servos tanto de forma manual, mediante controles intuitivos, como de forma automática, usando coordenadas en formato hexadecimal. Este enfoque automático asegura una programación precisa y controlada de las posiciones, lo cual ayuda a reducir los márgenes de error y optimizar la eficiencia del sistema.

El uso de coordenadas en formato hexadecimal ofrece varias ventajas, como una representación más compacta y precisa de las posiciones dentro del sistema de control. Esto facilita la integración de los sistemas en aplicaciones que requieren una alta exactitud y repetibilidad. En conjunto, este sistema permitirá tener un control de posicionamiento robusto, eficiente y confiable para los servomotores, lo que garantizará un funcionamiento óptimo durante todo el proceso.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema capaz de realizar un movimiento de ejes exacto para servosistemas utilizando las coordenadas de posicionamiento en formato hexadecimal mediante una programación realizada en la plataforma TIA PORTAL con la finalidad de conseguir una aplicación funcional y escalable para distintas aplicaciones a nivel industrial.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar un sistema HMI para control y monitoreo de las posiciones y cambios de velocidades de los servomotores.
2. Establecer una conexión entre la interfaz gráfica y el servosistema mediante la aplicación de bloques de programación para el control de movimiento en la plataforma TIA PORTAL.
3. Realizar pruebas de control y movimiento para optimizar el rendimiento del sistema en términos de velocidad, precisión durante el tiempo de funcionamiento de los ejes.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Servosistemas

A servomecanismo, también conocido como servosistema, y a menudo abreviado como "servo", representa un sistema de control automatizado capaz de ajustar la salida en función de la retroalimentación que recibe, logrando así una precisión sin precedentes en el control de la posición, la velocidad y el movimiento general de un objeto [2]. Los servosistemas cuentan con tres componentes principales, los cuales son, el dispositivo controlador, actuador y un sensor de retroalimentación. Ejemplos de estas partes son el PLC (controlador lógico programable), motor o servomotor y un encoder respectivamente.



Ilustración 1 Servosistema [3]

1.5.2 Controladores Lógicos Programables

Un PLC o controlador lógico programable es un sistema de control informático industrial que supervisa continuamente el estado de los dispositivos de entrada y toma decisiones basadas en un programa personalizado para controlar el estado de los dispositivos de salida. Estos controladores pueden automatizar un proceso específico, una función de la máquina o incluso toda una línea de producción [4]. Estos dispositivos tienen una alta confiabilidad y eficiencia en aplicaciones industriales que requieran de una sincronización de procesos o un control secuencial.

S7-1500

SIMATIC S7-1500 es la nueva familia de controladores de última generación para la automatización de máquinas y plantas de proceso. Esta nueva generación de controladores se caracteriza por su alta potencia, funcionalidad y eficiencia. Ofrece importantes beneficios tales como poderosos sistemas de diagnóstico integrado, funciones de control de movimiento y seguridad fácilmente programables [5].



Ilustración 2 PLC S7-1500 [5]

1.5.4 Servo accionamiento (Servo drivers)

Los servos accionamientos (Servo Drivers) son componentes esenciales en sistemas de control de movimiento que utilizan servomotores. Su principal función consiste en proporcionar la energía necesaria y controlar la velocidad, la dirección y la posición del servomotor, de forma que pueda realizar movimientos precisos y controlados.[6]. El servo driver actúa como el cerebro de un servomotor, comparando de forma constante la posición deseada con la real, mediante el uso de un encoder como sensor de retroalimentación del sistema. Esta información le permite ajustar la corriente del servomotor con precisión, eliminando cualquier desvío y garantizando movimientos rápidos y exactos hacia el objetivo establecido.



Ilustración 3 Servo Accionamiento S120 [7]

1.5.5 Sistema de periferia descentralizada ET200eco PN

La ET200eco PN es un sistema de periferia descentralizada con una gran escalabilidad y flexibilidad, ya que permite ya que permite conectar las señales de algún proceso a través de un bus de campo, este modelo en específico usa comunicación PROFINET IO. Si las entradas y salidas están apartadas del sistema de automatización a una distancia considerable, se requerirá un largo tendido de cable, el cableado será por lo tanto complicado y se puede ver afectado por interferencias electromagnéticas. Para tales instalaciones, la mejor solución es emplear un sistema de periferia descentralizada [8].



Ilustración 4 ET200eco PN [8]

1.5.6 Sensores

Sensor Inductivo

El sensor de proximidad inductivo tiene la capacidad de detectar la presencia de objetos metálicos que se acercan al sensor sin la necesidad de un contacto físico. Estos sensores poseen un campo magnético, generado por una bobina, que se le induce una corriente en el momento que se aproxima un material metálico aumentando o disminuyendo el flujo de corriente de acuerdo a la proximidad entre el objeto y el sensor. Estos cambios son los que el sensor utiliza para emitir una señal de detección.[9]

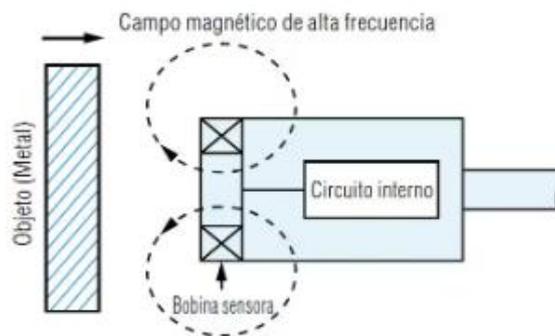


Ilustración 5 Sensor inductivo [9]

Encoder

Los encoder son sensores que generan una señal digital en respuesta al movimiento para posteriormente ser leída por un dispositivo de control dentro de un sistema de control, como por ejemplo un PLC. Gracias a la señal de respuesta que envía este dispositivo son usados para aplicaciones de determinación de posición, conteo, velocidad o dirección [10]. Existen de dos tipos, encoder incremental, que genera pulsos mientras se mueve, y absolutos, los cuales generan varios bits para indicar la posición actual.

1.5.7 Protocolo de Comunicación Profinet

PROFINET (PROcess Field NETwork) es un protocolo de comunicación desarrollado por la organización PROFIBUS & PROFINET International (PI). Está diseñado para conectar dispositivos industriales con varios tipos de equipamiento productivo, como motores, sensores y otros dispositivos electrónicos [11]. Este protocolo ofrece una comunicación en tiempo real muy rápida lo que lo vuelve ideal para trabajar en conjunto con aplicaciones industriales que requiera n de un tiempo de respuesta mínimo. Adicionalmente, es una herramienta flexible y escalable ya que es capaz de trabajar junto a diferentes variedades de topologías de red, así como también se adapta muy bien a sistemas pequeños y grandes.

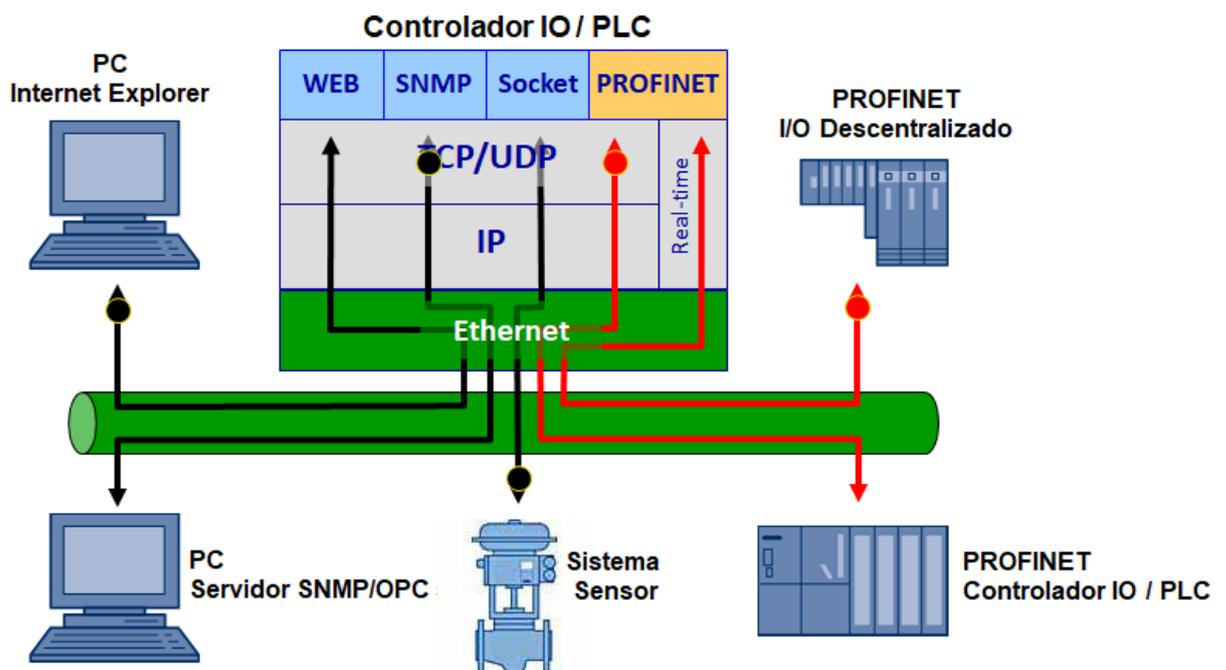


Ilustración 6 Protocolo Profinet [11]

1.5.8 Entorno de Programación

TIA PORTAL

Automatización totalmente integrada (Totally Integrated Automation) es la plataforma de ingeniería de Siemens que ofrece soluciones de automatización en todos los sectores industriales del mundo, integrando todas las tareas de automatización de un proceso industrial. Se trata de una aplicación modular a la que se le pueden ir añadiendo nuevas funcionalidades según las necesidades concretas de cada sector [10].

1.5.9 Control de movimiento (Motion Control)

En términos simples, el control de movimiento es la tecnología que permite controlar con precisión la velocidad, posición y aceleración de un objeto en movimiento. Esto se logra mediante el uso de sistemas de hardware y software que trabajan en conjunto para coordinar y sincronizar los movimientos de diferentes componentes mecánicos.

Capítulo 2

2. Metodología.

En este capítulo se presentó la propuesta de solución planteada para el desarrollo del sistema para monitoreo de los servomotores. Se explicó desde las primeras etapas de selección de componentes, pasando por creación de prototipos de la interfaz HMI hasta llegar al modelo final y culminando en la implementación y puesta en marcha del proyecto.

2.1 Diseño de la solución

Se realizó un estudio preliminar acerca del servo-accionamiento compuesto por el modelo S120 con la finalidad de comprender de mejor manera los equipos con los que se trabajó. Este primer estudio permitió hacer una compilación de información y datos técnicos que más adelante sirvieron para la selección del resto de componentes y lograr un diseño óptimo para la solución que se planteó. Previo a este cambio nuestro cliente utilizaba motores comunes de inducción, los cuales no eran muy precisos y tenían altas sobre corrientes de entrada lo cual volvía ineficiente el sistema.

La solución propuesta para este proyecto se centra en la creación de sistema HMI, que, junto a un servosistema, asegure un arranque seguro, un control preciso, y un monitoreo de características, como la velocidad y posición, del sistema en cuestión. El servosistema de múltiples ejes es el encargado de controlar ambos servomotores mediante el comando de un PLC.



Ilustración 7 Servosistema s120 implementado

2.2 Datos técnicos de componentes seleccionados

Componente	Datos Técnicos
PLC S7-1500T PN	CPU 1517H-3 PN, módulo central con memoria de trabajo de 2 MB para programa y 8 MB para datos, 1.ª interfaz: PROFINET RT con switch de 2 puertos, 2.ª interfaz: PROFINET, 3.ª/4.ª interfaz: H-Sync.
Servo accionamiento S120	Tensión de red: 3 AC 380 V -10% (-15% < 1 min) a 3 AC 480 V +10%. Frecuencia de red 47 Hz a 63 Hz Tensión de salida 0 a tensión de red, en función del tipo de alimentación. Alimentación de electrónica de control 24 V DC (20,4 V - 28,8 V).
Unidad de control CU-320-2PN	Number 12, Voltage -3 ... 30 V, Low level -3 ... 5 V, High level 15 ... 30 V, Power consumption at 24 V DC, typ. 3.5 mA.
ET200eco	SIMATIC ET 200eco PN, DIQ 16x 24V DC/0,5A/2A, M12-L, 8x M12, asignación doble, tipo de entrada 3 (IEC 61131), entrada Sink, (PNP, sumidero), retardo a la entrada 0,05...20 ms; Source Output (PNP,fuente).
HMI TP1200 Comfort	HMI TP1200 Comfort, Comfort Panel, mando táctil, pantalla panorámica TFT 12", 16 millones de colores, interfaz PROFINET, interfaz MPI/PROFIBUS DP, memoria de configuración de 12 MB.
SITOP RED 1200	Entrada/salida: 24/48 V DC/20 A apto para desacoplar dos fuentes de alimentación SITOP con una intensidad de salida de 10 A máx.

Tabla 1. Descripción de equipos

Para un correcto desarrollo y desempeño del proyecto, se seleccionaron equipos que satisfagan las necesidades del cliente para asegurar el control de movimiento preciso, y crear un sistema con tolerancia a fallos. A continuación, se presenta una tabla con los equipos más representativos y sus especificaciones.

En primera instancia se escogió trabajar con el modelo de PLC S7-1500T debido a su característica de ser un sistema redundante para lograr una mayor disponibilidad. En las instalaciones que posean equipos con redundancia la avería de los componentes individuales no debe de significar ningún problema para el funcionamiento del proyecto. Adicionalmente, el módulo de redundancia SITOP asegura un desacople, seguro y confiable, de un par de fuentes de alimentación, en caso de que una falle. Este modelo de PLC fue necesario para trabajar con el equipo controlador principal del movimiento, ya que cualquier otro PLC no es compatible.

Se decidió trabajar con el servo accionamiento S120 debido a su alto rendimiento en aplicaciones donde se requieren un control de movimiento preciso y seguro. Este proyecto se trabajó con un sistema de múltiples ejes, dos servomotores, por lo cual se seleccionó una unidad de control para el sistema acorde a esta necesidad. La unidad de control CU-320-2 PN fue la seleccionada para esta tarea.

Para la recepción y envío de señales se trabajó una periferia descentralizada modelo ET200 eco, esta periferia permitió disminuir el uso excesivo de cables para manipular señales enviadas por parte de los sensores. Este sistema recogió las señales próximas de los sensores y las envió mediante un solo bus de datos al PLC con el que se trabajó, reduciendo así el tamaño del tablero principal debido a la disminución de cables y ahorrando recursos económicos.

La alimentación principal de todo el sistema proviene de una SITOP PSU300S, fuente de alimentación trifásica con entrada de 400/500 VAC y salida 24 VDC a 40 A.

En cuanto a la interfaz de usuario, se utilizó un panel HMI TP1200 Comfort, el cual fue el equipo que permitió la interacción entre el personal y la maquinaria. Este dispositivo permitió llevar un control y monitoreo sobre la posición, velocidad y aceleración del servosistema. El panel HMI tiene funcionamiento dual, es decir modo manual y remoto, en modo manual el operario tiene la posibilidad de ingresar la posición deseada mientras que en modo remoto toda esa información se ve reflejada en la interfaz.

Dicha información fue enviada de forma remota desde un servidor externo, ya existente, en formato hexadecimal, posteriormente es procesada por el PLC para la conversión de datos a decimal y finalmente esa información ya tratada mostrársela al usuario a través del panel.

2.3 Diagrama de conexiones del Slip Ring

Con la finalidad de permitir una transmisión de señales eléctricas, datos o energía entre dos partes de un sistema se utilizó un Slip ring, el cual permite que los componentes giratorios y estacionarios de una máquina se comuniquen entre sí sin necesidad del uso excesivo de cables. Cabe recalcar que la implementación física de este módulo fue realizada por el cliente y su contratista externo. En esta sección se detalla las partes más relevantes que se relacionan directamente con la parte de control de movimiento.

El slip ring cuenta con conexiones destinadas para los drives clip de la parte de control, así como también cables calibre 7 de 40 AMP para los terminales de fuerza de los servomotores. Adicionalmente, se realizó el conexionado necesario para la implementación de dos resolver para medir la posición angular relativa de un eje giratorio, con estos equipos se logra retroalimentar al controlador sobre su posición o velocidad cerrando el bucle de control.

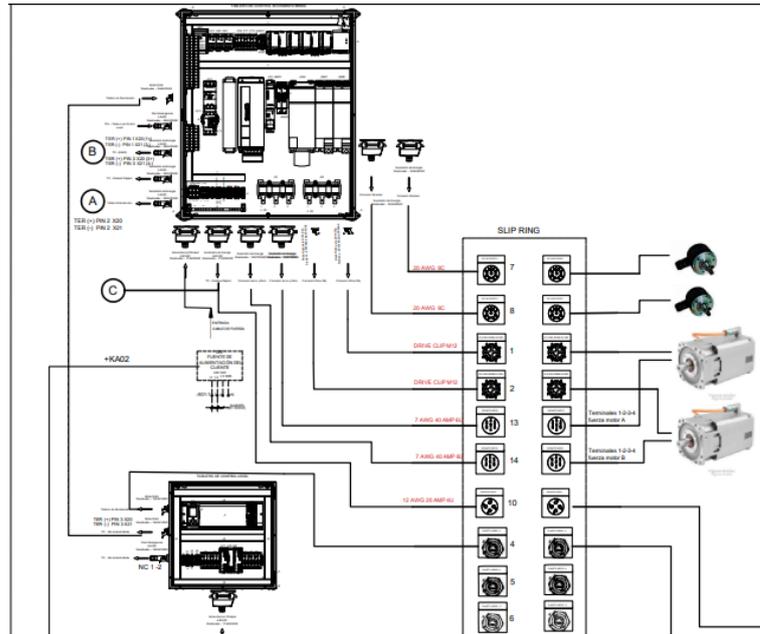


Ilustración 8 Conexión del Slip Ring

2.4 Secuencia de funcionamiento en el modo remoto

Durante la secuencia de funcionamiento del proyecto en modo remoto ocurren una serie de etapas previo a la presentación de los parámetros al usuario. Esta serie de pasos aseguran una monitorización en tiempo real de la velocidad actual y posición. En la figura número 8 se explica brevemente en que consiste cada etapa del proceso.



Ilustración 9 Proceso de modo remoto

2.5 Fase de simulación

Previo a la etapa de puesta en marcha del proyecto se realizó una simulación de un eje virtual con el objeto tecnológico cinemático (Kinematics) de TIA PORTAL, enlazado a una pantalla HMI. Esta prueba preliminar tuvo como finalidad probar los bloques de programación para el control de movimiento del eje, así como en enlace de las variables para su control en modo manual desde la interfaz. Cabe recalcar que para esta primera etapa de pruebas la interfaz que se armó no fue la definitiva para el proyecto.

2.5.1 Bloques de control de movimiento (Motion Control)

Para esta prueba de simulación de control de movimiento se tomaron en cuenta algunos aspectos para la misma, tales como, habilitación y deshabilitación del eje, control manual(jogeo), colocar un punto de referencia (home) y finalmente una secuencia automática de posición a seguir por el eje a diferentes velocidades. Se usaron diferentes bloques de control de movimiento disponibles en la librería de TIA PORTAL para lograr estos requerimientos. Se empezó la programación creando un bloque principal FB donde se integrarán los bloques correspondientes para la habilitación del eje, el reinicio y el de referenciado. Respectivamente los bloques utilizados fueron el MC_POWER, MC_RESET y MC_HOME, cabe recalcar que para el último bloque nombrado se tiene que configurar el tipo de referenciado activo ya que ese parámetro permite al eje ir en busca de un final de carrera para a partir de ahí ejecutar los demás movimientos deseados.

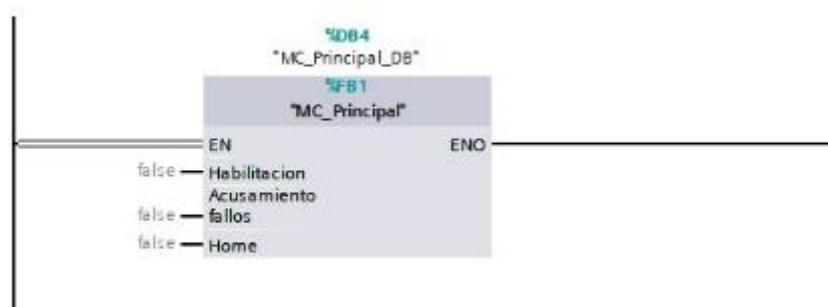


Ilustración 10 Bloque FB principal

Posteriormente, para la ejecución del movimiento manual mediante función JOG se utilizó el bloque MC_MOVEJOG. Este bloque permite colocar el eje que se desea controlar, así como también su velocidad de movimiento y para qué sentido (izquierda o derecha). Esta última característica fue manejada desde la interfaz creada por lo que en el bloque de programación se dejó esas entradas con el valor estándar “FALSE”.

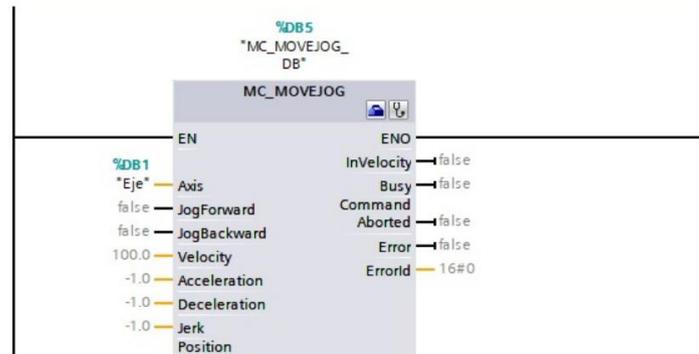


Ilustración 11 Bloque MOVEJOG

Finalmente, se hizo uso de una secuencia de bloques MC_MOVEABSOLUTE los cuales permitieron al eje realizar una serie de movimientos hacia diferentes posiciones y a distintas velocidades. Estos parámetros son controlados desde las entradas “Position” y “Velocity” del bloque. Cabe mencionar que para iniciar con la secuencia de movimiento la orden de comando “Execute” del primer bloque está asociada a un botón de la interfaz. Cada bloque MC_MOVEABSOLUTE individual tiene una salida “Done” la cual cumple el rol de darle la señal de comando de acción al siguiente bloque para continuar la secuencia, es decir, la salida “Done” de un bloque previo es asociado a la entrada “Execute” del siguiente bloque.

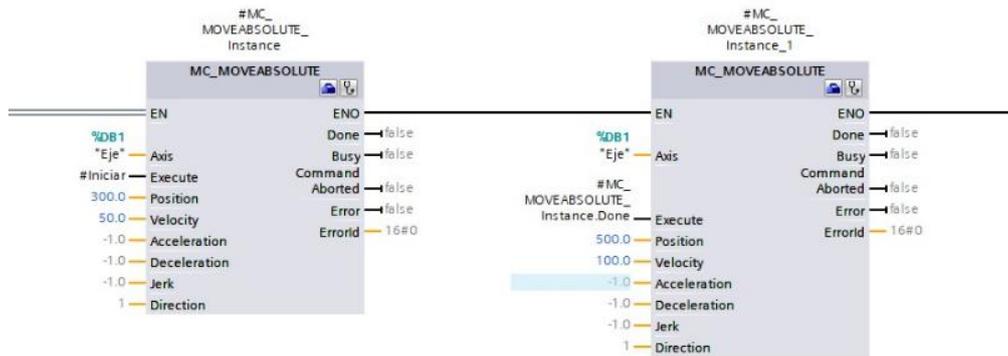


Ilustración 12 Bloques secuenciales

2.5.2 Creación de interfaz HMI preliminar

Para la creación de la interfaz, se utilizó el software de automatización TIA PORTAL, donde se realizó el enlace de las variables u ordenes de comando para la ejecución de la simulación. Primero se comenzó con el anexo de la señal de habilitación y deshabilitación del eje principal.

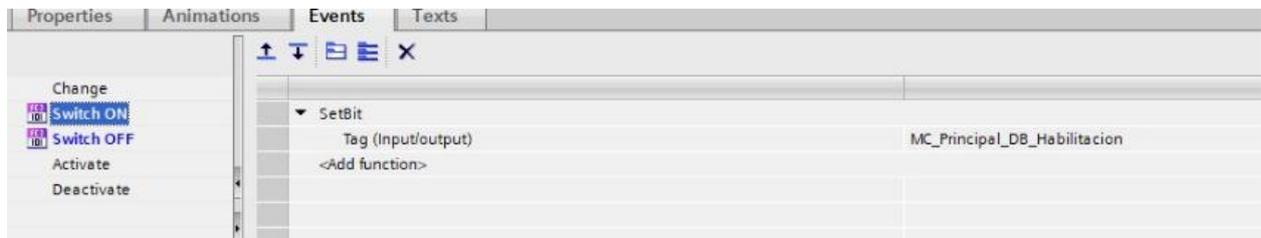


Ilustración 13 Evento Switch On/OFF para habilitación del eje

De igual forma se procedió con el enlace de las señales para el reinicio del eje cuando entre en falla y para regresarlo al punto de referencia o home. En esta simulación se configuró el eje para detectar un par de finales de carrera virtuales los cuales al ser alcanzados van a mandar una alerta al usuario donde tendrá que reiniciar el eje para continuar con el uso de este.



Ilustración 14 Evento reinicio de eje



Ilustración 15 Evento Home

Para el control manual se procedió de igual manera con el anexo de las variables a los botones configurados encargados del movimiento manual en la pantalla de usuario.



Ilustración 16 Evento JogBackward



Ilustración 17 Evento JogForward

Adicionalmente, se le agregó al panel HMI unos indicadores de falla y de “listo para trabajar”. Cuando se crearon estos indicadores se le enlazó el bit correspondiente a una palabra de estado (Status Word) donde cada uno de sus bits representa un indicador diferente para el sistema. Por ejemplo, para el indicador de reinicio del eje, una vez haya alcanzado uno de los límites previamente configurados, se le asignó el segundo bit de la palabra de estado (StatusWord.X2) el mismo procedimiento se siguió con cada uno de los indicadores dependiendo de su número de bit correspondiente tal como se muestra en la ilustración 17.

Enabled	The technology object has been enabled. You can move the axis with motion jobs. (<TO>.StatusWord.X0 (Enable))
Position-controlled mode	The axis is in position-controlled mode. (Inversion of <TO>.StatusWord.X28 (NonPositionControlled))
Homed	The technology object is homed. The relationship between the position in the technology object and the mechanical position was successfully created. (<TO>.StatusWord.X5 (HomingDone))
Error	An error occurred at the technology object. Detailed information about the error is available in the "Error" area and in the "<TO>.ErrorDetail.Number" and "<TO>.ErrorDetail.Reaction" tags of the technology object. (<TO>.StatusWord.X1 (Error))
Restart active	The technology object is being reinitialized. (<TO>.StatusWord.X2 (RestartActive))

Ilustración 18 Bit de palabra de estado

Finalmente, una vez se realizó todo el enlace de las entradas de los bloques de programación hacia los respectivos botones de la interfaz se procedió a darle un acabado llamativo a la pantalla de pruebas tal como se muestra a continuación.

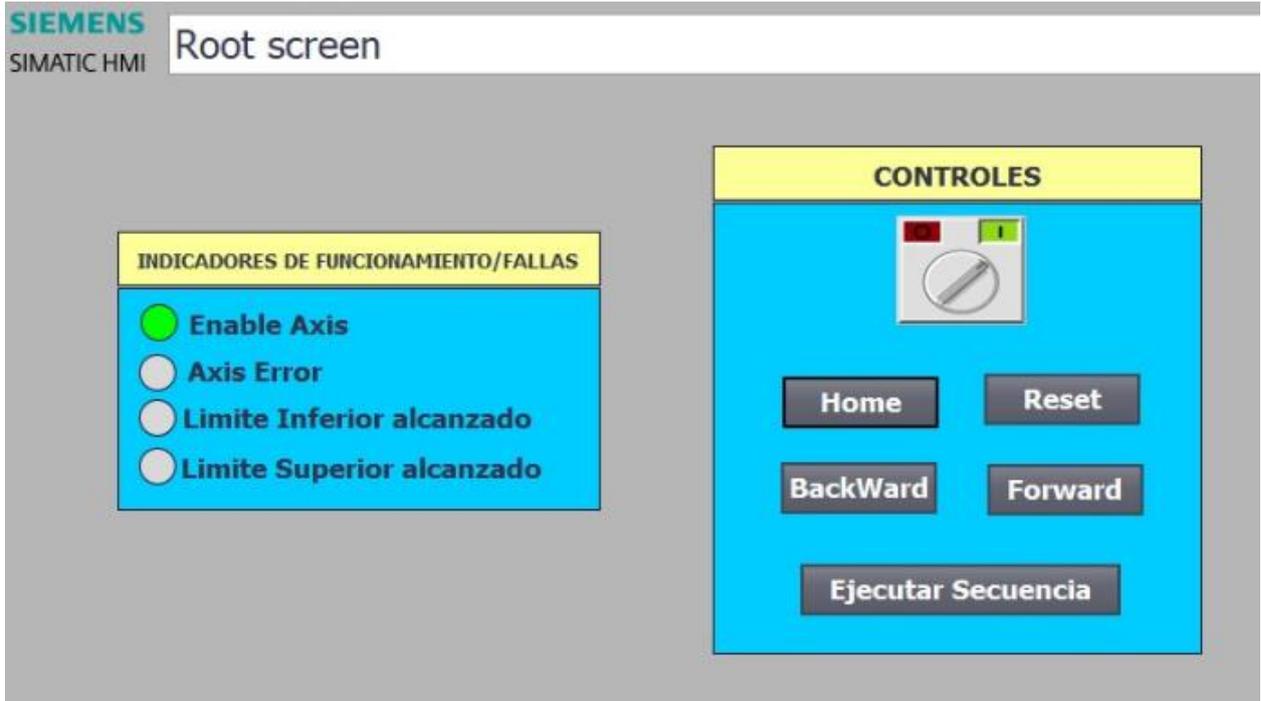


Ilustración 19 Interfaz gráfica de usuario

2.6 Comunicación industrial entre los equipos

Para esta etapa del proyecto, una vez culminadas las pruebas en simulación, se empezó con la interconexión para la comunicación de los equipos, es decir, la arquitectura de red del proyecto.

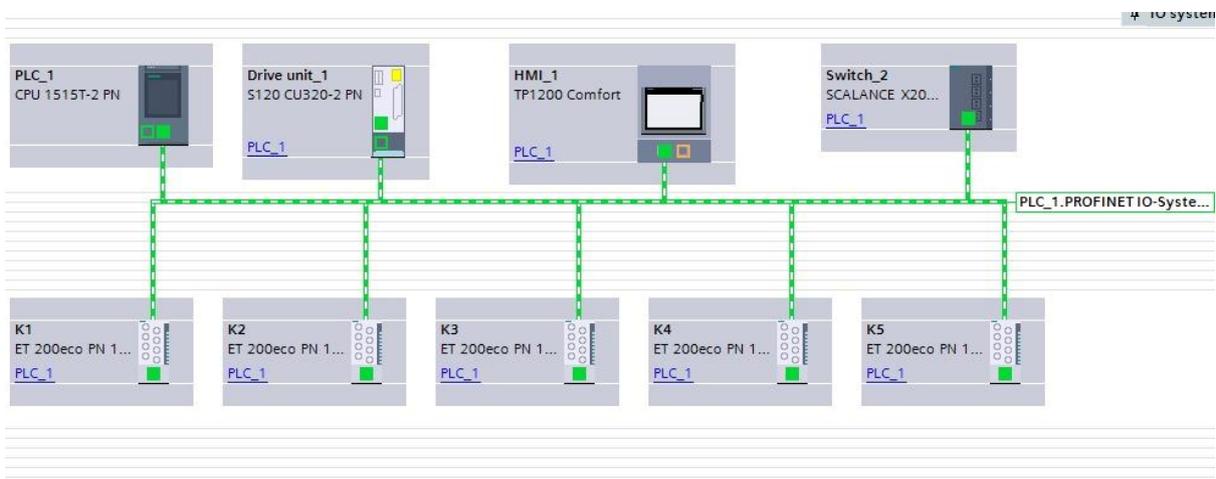


Ilustración 20 Arquitectura de red

Como se presenta en la figura número 20, en la comunicación principal del proyecto se ven involucrados los equipos previamente descritos. Inicialmente, en la parte izquierda del esquema se encuentra el controlador maestro del servo accionamiento, el cual, previamente, se le programó la lógica requerida para cumplir sus funciones principales: Establecer comunicación con el servidor externo del cliente y la conversión de datos hexadecimales a decimales para presentarlos en la interfaz gráfica. A la derecha del controlador se tiene el servo accionamiento con su respectiva unidad de control la cual permitió el control multiteje de los servomotores. Del lado derecho de la arquitectura tenemos un switch Scalance con puertos tipo hembra RJ45 para gestionar de mejor manera la comunicación entre todos los equipos vía PROFINET. Finalmente se tiene los dispositivos de periferia descentralizada para el manejo de señales hacia el PLC principal.

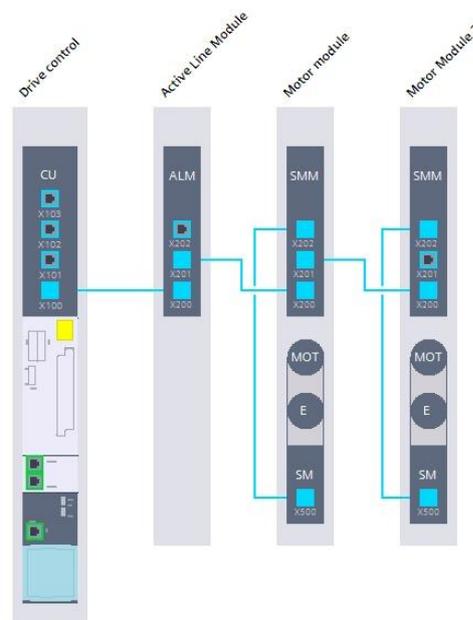


Ilustración 21 Arquitectura del Servosistema S120

Al observar la arquitectura del servosistema Sinamics S120 podemos notar que existen las conexiones con el “Active Line Module” y los dos “Motor Module” las cuales desempeñan las funciones claves en lo que se refiere al sistema de accionamiento de los servomotores.

El módulo de línea activa (Active Line Module) es el componente encargado de la conversión de energía de la red eléctrica al sistema de corriente continua. Su función principal es suministrar energía a los módulos de los motores (Motor Modules), garantizando una operación eficiente y estable.

Por otro lado, los módulos de los motores (Motor Modules) tienen la función de suministrar la energía a los servomotores con respecto a las señales de control recibidas. Estos módulos convierten la tensión de corriente continua en una señal de corriente alterna trifásica con las características requeridas por los motores, permitiendo un control preciso de velocidad.

2.7 Interfaz de usuario

Como etapa final para las pruebas definitivas de movimiento, se realizó una segunda pantalla donde se incluyó ambos modos de control previamente descritos con su respectivo indicado de funcionamiento que se encenderá dependiendo de qué modo esté habilitado. Se configuró los campos como entradas para el modo local puesto que así se le permitió al operador colocar la velocidad y posición deseada.

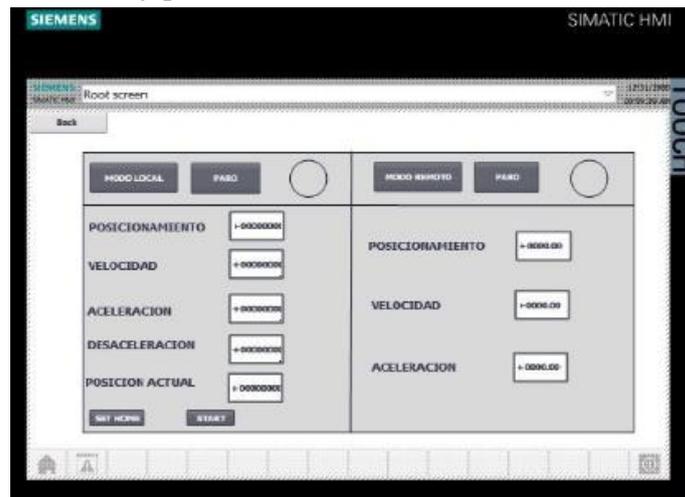


Ilustración 22 Interfaz HMI principal

Capítulo 3

3. Resultados y Análisis

En este proyecto se desarrolló un sistema capaz de controlar el posicionamiento de servosistemas mediante una programación de control de movimiento en la plataforma TIA PORTAL. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas que se realizaron con la finalidad de validar el correcto funcionamiento del sistema HMI. Estas pruebas se llevaron a cabo en dos etapas: inicialmente se trabajó con un eje virtual, el cual fue configurado mediante un objeto tecnológico, y posteriormente con un servomotor fuera de sitio. El objetivo principal de ambas pruebas fue evaluar el funcionamiento de la interfaz, la precisión del sistema y precisión en la ejecución de comandos.

3.1 Pruebas en eje virtual

Para llevar a cabo las pruebas mediante un eje virtual se utilizó el objeto tecnológico “TO_Kinematics” el cuál es una herramienta muy útil para controlar y coordinar los ejes pertenecientes a la cinemática en el movimiento de la trayectoria. Cabe recalcar que esta herramienta solo está habilitada en la CPU’S de tipo tecnológicas, con otro modelo de controlador no funcionará.

Se trabajó con un tipo de cinemática portal cartesiano de dos dimensiones (2D) en el cual dentro de su configuración previa se colocó dos finales de carrera virtuales para simular fallas. Una vez terminada la etapa de configuración se empezó probando el movimiento mediante JOG cuya finalidad era evaluar la capacidad del sistema para controlar manualmente al eje virtual. Desde la interfaz creada se configuraron dos botones que permitían mover el eje en sentido positivo o negativo de acuerdo al gusto del usuario. Durante las pruebas realizadas el eje respondió de forma precisa e inmediata a las órdenes de la interfaz, con movimientos fluidos y

constantes. Los resultados arrojados por esta prueba demostraron ofrecer una experiencia sencilla y precisa.

A continuación, se implementó en el HMI una funcionalidad de Set HOME, el cual permite al usuario referenciar al eje hacia un punto en específico, previamente establecido en la configuración del sistema, independientemente de su ubicación actual. Esta funcionalidad es fundamental en cualquier sistema de control porque permite establecer un estado de arranque para el eje el cual facilita el inicio de nuevas operaciones o una rápida recuperación tras un fallo.

Para la prueba de esta característica el eje virtual fue colocado en varias posiciones aleatorias para posteriormente activar el comando desde la interfaz y en cada una de las pruebas, cualquiera que haya sido la posición del eje, se colocaba 100mm. El eje virtual respondió correctamente moviéndose al punto establecido sin desvíos o errores.

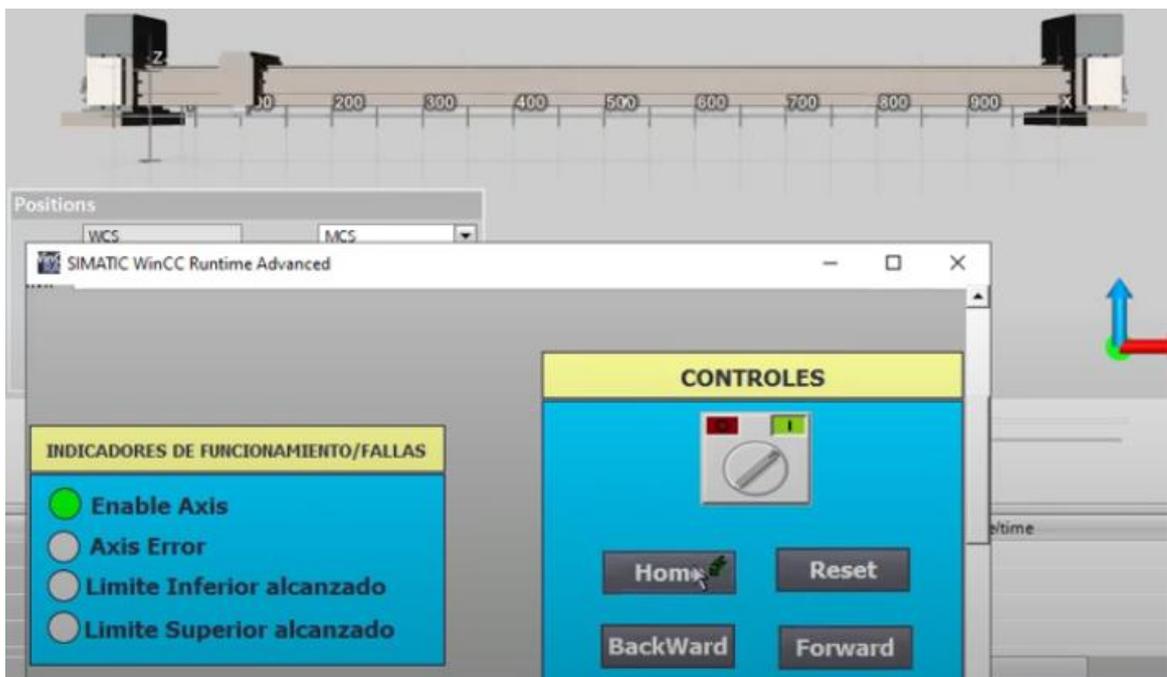


Ilustración 23 Prueba Funcionamiento set HOME

Posteriormente, se realizaron pruebas de simulación de finales de carrera los cuales fueron configurados previamente en valores de -30 mm para el límite inferior y de 950 mm para el límite superior. Estos límites restringen el libre movimiento del eje a los valores establecidos, impiden que se desplace más allá de estos puntos. Durante la simulación, cuando se intentó mover el eje más allá de estos límites la interfaz HMI generó alertas visuales que informar al usuario que el sistema ha entrado en falla.

Esta funcionalidad descrita demostró ser eficaz y precisa al momento de detectar que los límites fueron alcanzados, este tipo de características son importantes para prevenir movimientos no deseados y garantizar la integridad física del sistema y evitar fallas o averías mayores. Como resultado de estas pruebas se comprobó que la interacción de el HMI y las alertas visuales fue sincronizada, con un tiempo de respuesta bajo.

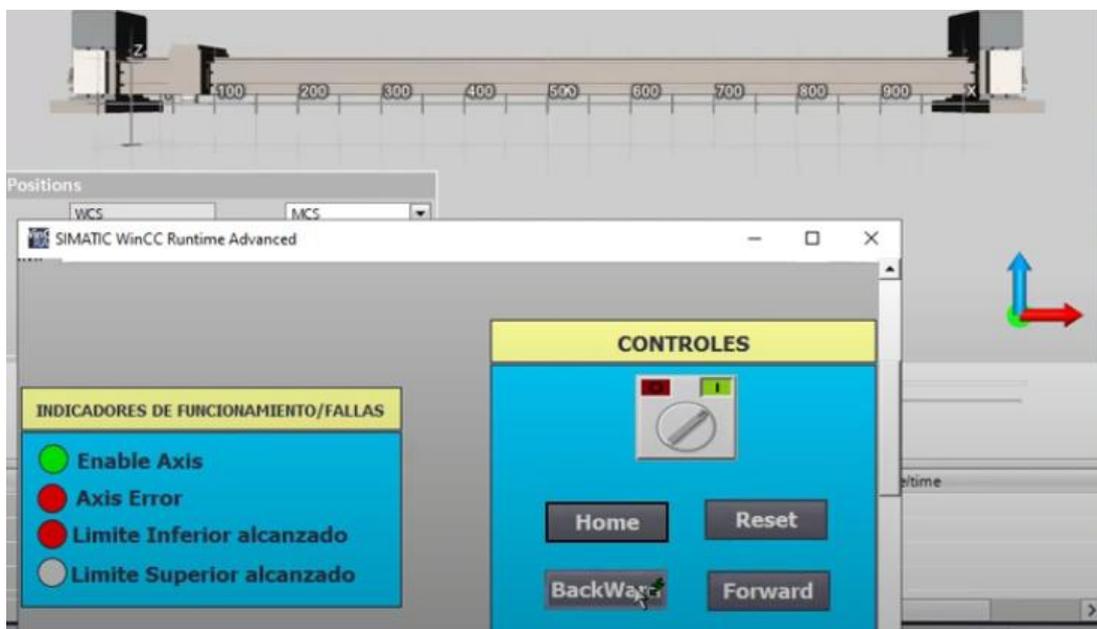


Ilustración 24 Prueba de alertas visuales y límite inferior alcanzado



Ilustración 25 Prueba de alertas visuales y límite superior alcanzado

Cabe recalcar que cuando el sistema entró en falla el eje se bloquea y no puede ser controlado en ninguna circunstancia hasta que exista un acusamiento de falla y un reset del eje. Junto a la funcionalidad de inhabilitación del eje debido a algún límite alcanzado, trabaja un botón que desde HMI, se envía una instrucción de “Reset” el cual cumple con la tarea de eliminar el error y volver a colocar al eje en un estado de “listo para trabajar” tras el acusamiento de la falla. Esta característica es esencial para garantizar la disponibilidad del equipo tras una falla, las pruebas realizadas confirmaron su funcionamiento.

Finalmente, la última prueba se trató de la creación de una secuencia de movimiento mediante la implementación de una serie de bloques “MC_MoveAbsolute” para que el eje alcance unas posiciones previamente establecidas. Cada uno de los bloques creados tienen la característica de configurar la posición objetivo y la velocidad deseada, parámetros que definían como debía de moverse el eje. La secuencia fue diseñada para simular un escenario

real de operación en el cual se recorre posiciones predeterminadas a velocidades diferentes.
eficiente

Se definió una serie de cinco movimientos con las siguientes configuraciones:

- Movimiento 1: Posición 400 mm, velocidad 60 mm/s.
- Movimiento 2: Posición 500 mm, velocidad 100mm/s.
- Movimiento 3: Posición 300 mm, velocidad 90 mm/s.
- Movimiento 4: Posición 900 mm, velocidad 40 mm/s
- Movimiento 5: Posición 100 mm, velocidad 70 mm/s.

En cada una de las posiciones establecidas el eje logró llegar al objetivo de forma precisa, fluida y sin interrupciones incluso en las velocidades más altas. Esta prueba de movimientos absolutos corrobora la capacidad del sistema HMI de trabajar en conjunto con el eje virtual para realizar tareas que requieran movimientos precisos, rápidos y configurables, además, al establecer diferentes velocidades en cada bloque permitió evaluar al sistema y su capacidad de trabajo en condiciones variantes. Como resultado se observó que el sistema es capaz de manejar cambios abruptos de velocidad entre cada posición objetivo sin generar alguna clase de inestabilidad.

Gracias al uso de los bloques de control de movimiento absoluto se logró simular condiciones de operación reales, además, su integración con la interfaz facilita llevar un control sobre el eje. Esta funcionalidad es muy importante para entornos industriales los cuales requieran trabajar con movimientos precisos y controlados en servosistemas.

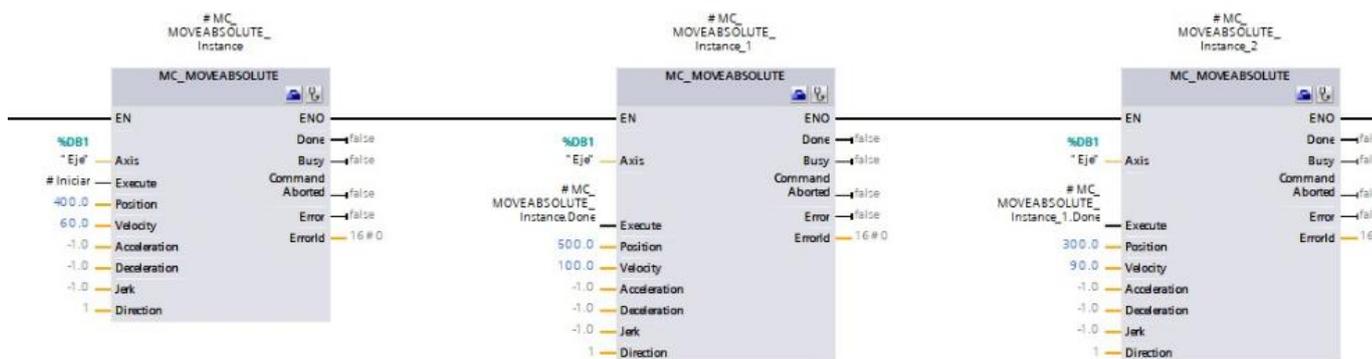


Ilustración 26 Primeros tres pasos de la prueba de movimiento absoluto

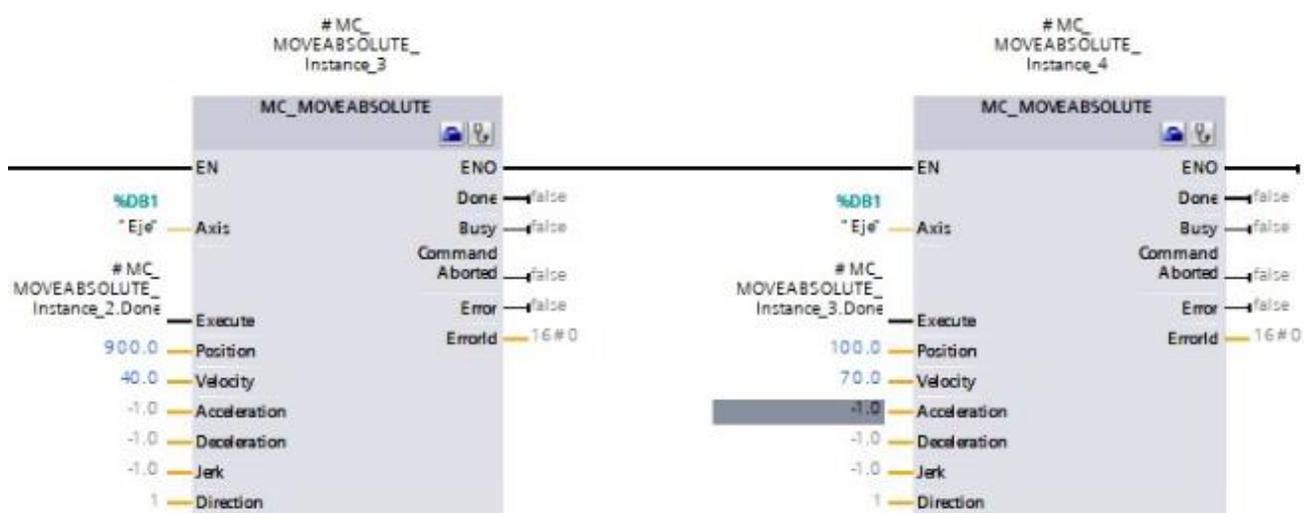


Ilustración 27 Últimos dos pasos de la prueba de movimiento absoluto.

3.2 Pruebas en eje real fuera de sitio

3.2.1 Descripción de la configuración base para el control del servomotor

Para esta segunda etapa de prueba con el servomotor real fuera de sitio ya se tenían previamente conectado y alimentados los componentes que forman la base del control de movimiento, estos son, el servosistema S120 junto con la HMI TP1200 Comfort. Estos sistemas en conjunto, gracias a su hardware confiable y el uso del protocolo de comunicación Profinet, permitieron realizar las pruebas de control de forma segura y precisa.

El servosistema S120 fue el encargado de ejecutar los movimientos del eje que son enviados de la interfaz hombre-máquina. Este equipo es conocido en la industrial por tener una alta precisión y capacidad de respuesta, factores que resultaron determinantes para lograr el correcto desarrollo de las pruebas, donde se requería que el eje realice movimientos precisos. La retroalimentación del sistema permitió confirmar la exactitud del control en todo momento, asegurando así, la fiabilidad de los resultados que se obtuvieron.

La interfaz HMI realizó un papel fundamental durante las pruebas ya que este equipo fue el responsable de enviar las posiciones y velocidades deseadas para luego ser interpretadas por el servosistema descrito previamente. Los botones que fueron configurados en el panel de control permitieron al usuario inicializar secuencias de movimiento, visualizar señales de habilitación del eje, lo cual permitió llevar un monitoreo en tiempo real.

El protocolo de Comunicación Profinet fue utilizado para establecer la comunicación entre los equipos, garantizado así un envío de datos rápido y confiable lo cual es una característica importante donde la sincronización orden-acción es vital para un proceso industrial. Las pruebas realizadas demostraron que la comunicación es eficaz, y sin interrupciones en el movimiento del eje.

3.2.2 Pruebas realizadas con el servomotor fuera de sitio

Se realizaron tres pruebas para esta etapa, un set HOME para colocar al eje en su posición inicial, un desplazamiento del eje hacia la derecha y un retorno. Estas posiciones fueron ingresadas directamente en el HMI, a través de campos de entrada de datos, los cuales le dieron la facilidad al usuario de ingresar la posición objetivo según su necesidad.

Para la primera prueba se evaluó la capacidad del sistema de regresar a su punto de origen, es decir, el cero, previamente configurado. Esta acción se realizó mediante el botón creado en la interfaz. Tanto la posición objetivo como la velocidad de desplazamiento en todas las pruebas

fueron controladas por el servosistema implementado, lo que permitió que el movimiento sea preciso y fluido.

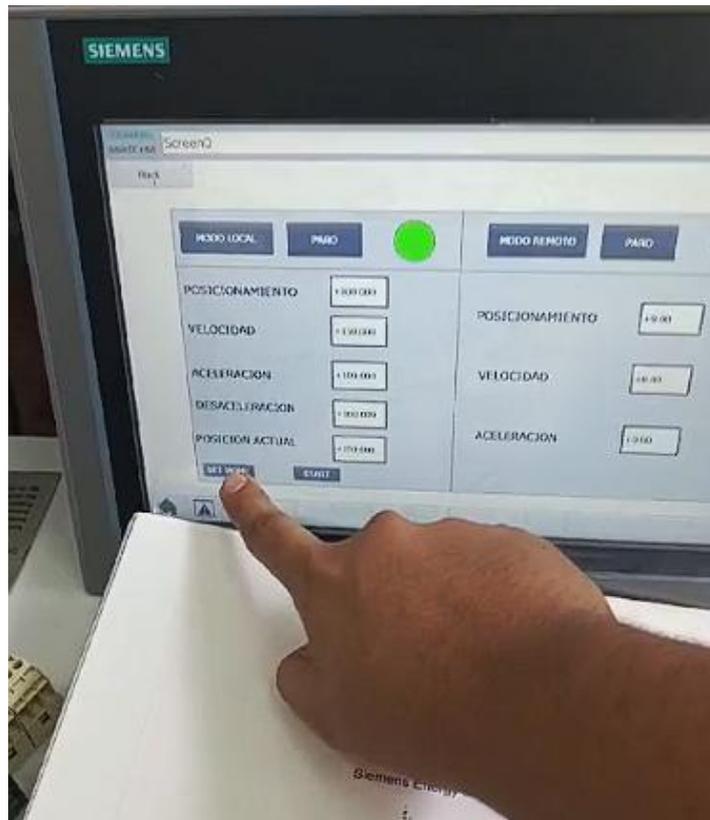


Ilustración 28 Referenciado del eje físico

Una vez el eje fue ubicado en su posición de referencia, se procedió con la prueba de movimiento del eje hacia la posición objetivo hacia un sentido y luego una última prueba haciendo girar el eje en sentido inverso. Inicialmente se colocó en la casilla de posicionamiento la posición de 800mm, al igual que la velocidad deseada, luego se pulsó el botón de arranque el cual le manda la información al servosistema para realizar la acción. Posteriormente se prueba haciendo girar al eje en sentido contrario colocando 200mm para ver un retroceso en el eje. Las pruebas realizadas demostrar la fiabilidad de todo el sistema, así como la precisión del servosistema a la hora de movilizar el eje hacia la posición objetivo.

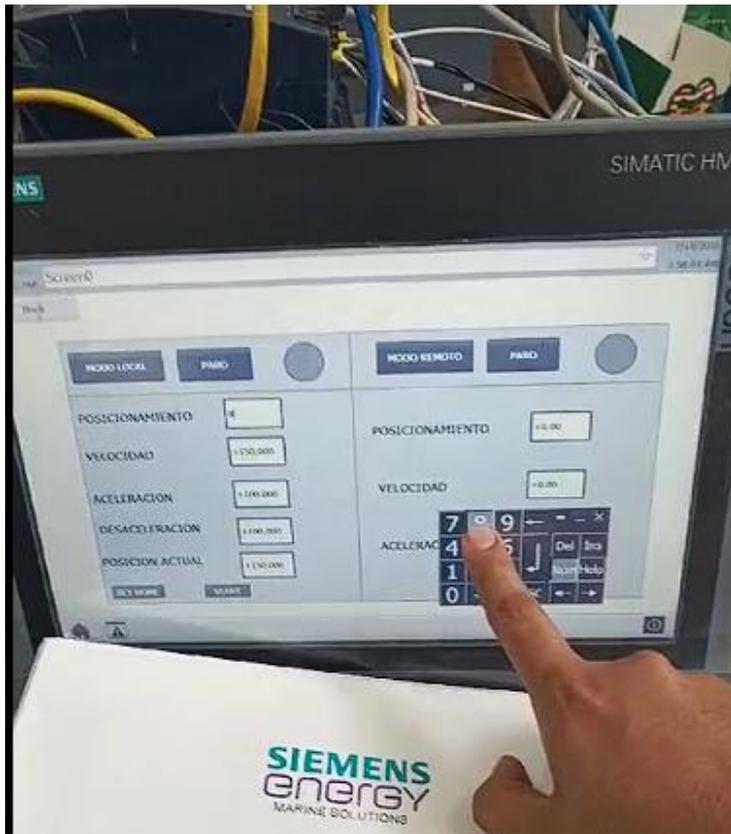


Ilustración 29 Control Manual del eje

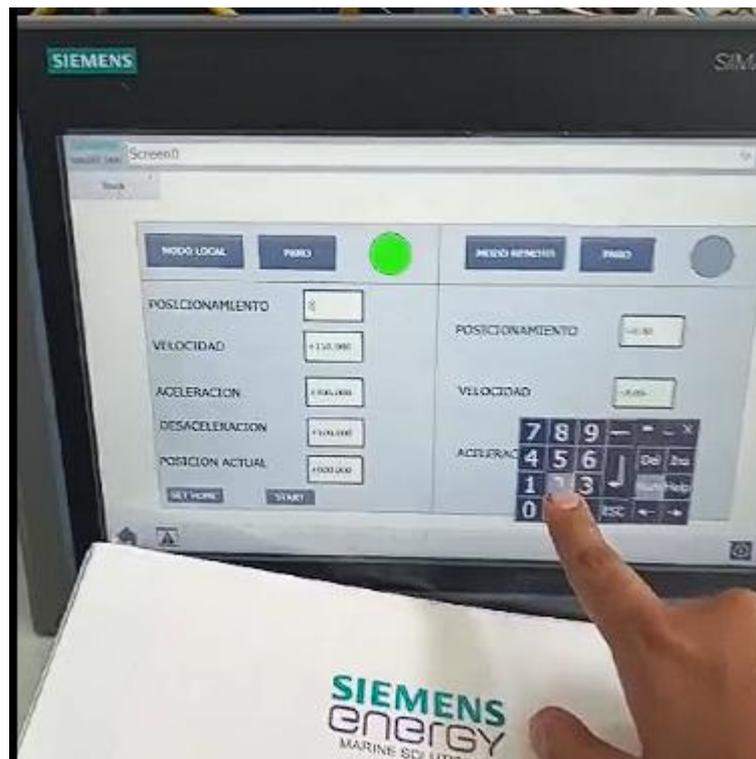


Ilustración 30 Retroceso del eje



Ilustración 31 Accionamiento del servomotor

3.2.3 Observaciones en el desempeño

En términos de precisión, velocidad y confiabilidad, el sistema presenta un rendimiento excepcional, estableciéndose como una solución confiable para el control del movimiento. En las pruebas de funcionamiento del sistema, se obtuvo una precisión casi perfecta, tomando en cuenta los aspectos físicos tales como inercia, vibraciones, etc., desde las coordenadas objetivo de posicionamiento. Este nivel de precisión es crítico para aplicaciones industriales de alta precisión, como el ensamblaje automático y la fabricación avanzada. Respecto al aspecto de la interfaz HMI, basado en el panel TP1200 Comfort, la experiencia de usuario fue natural y provechosa. Se consideraron factores como la usabilidad, accesibilidad, visualización y adaptabilidad.

En comparación con sistemas basados en motores de inducción, el sistema desarrollado ofrece beneficios significativos. Se logró una mejora en el control de posicionamiento. El

tiempo necesario para inicializar el sistema se redujo considerablemente gracias a la periferia descentralizada ET200eco PN y las interferencias fueron prácticamente eliminadas.

3.3 Pruebas remotas con el software Dock light

Una vez culminadas las pruebas virtuales y de control manual se continuó con el establecimiento de la conexión entre Dock light y el puerto del PLC para simular un servidor externo que le envíe los datos de posicionamiento al PLC de acuerdo a unas coordenadas establecidas por el usuario. Las pruebas de movimiento confirmaron que el uso de coordenadas de posicionamiento en formato hexadecimal reduce significativa los errores en la conversión de datos, lo que mejora aún más la precisión. Además, las coordenadas permitieron que el servosistema alcance posiciones específicas en función de las coordenadas.

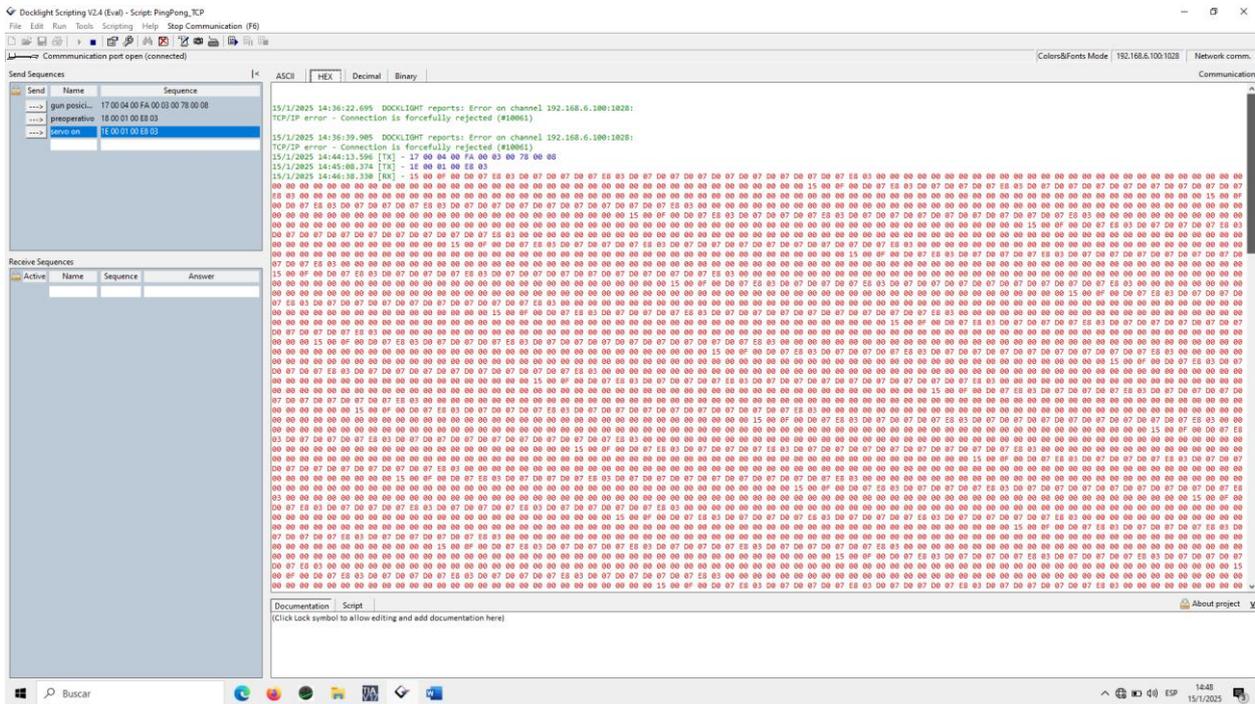


Ilustración 32 Comunicación entre PLC y software Dock light

3.4 Análisis de costos

Previamente, en la sección 2.2 se detallaron los equipos principales o base que permiten la implementación del servosistema y de la interfaz humano-máquina. En esta sección se presenta un análisis de costos asociados a la adquisición de cada uno de los componentes principales involucrados en las diferentes etapas del proyecto. Esto con el objetivo de evaluar que tan factible será la implementación física del proyecto, esto, sistema mediante las cotizaciones de los principales distribuidores de la región.

Se realizaron varios estudios de precios para poder elegir los más accesibles con la finalidad de conseguir una mejor relación costo-beneficio. Tomando en consideración que se utilizó tecnología de alta gama era de esperarse que los precios se disparesn significativamente como se muestra en la Tabla 2, sin embargo, cabe destacar que el montaje de los equipos, instalación y mantenimiento del sistema estuvieron a cargo del personal operativo del cliente. Esto no solo reduce los costos adicionales, sino que también asegura un conocimiento sobre el funcionamiento y familiarización de los equipos por parte del personal.

Los componentes fueron cuidadosamente seleccionados con la finalidad de lograr un mayor desempeño en el sistema, por ejemplo, en el caso de la pantalla HMI se optó por un modelo Comfort debido a que tiene más características para configurar y es un equipo adaptable, puesto a que se puede integrar en sistemas más grandes como lo son los sistemas SCADA. En específico se seleccionó este modelo de controlador ya que al tratarse de un proyecto que usa herramientas tecnológicas no cualquier controlador tiene la posibilidad de trabajar con estas características. De igual forma, se seleccionó el variador S120 por su excelencia y reconocimiento en el mundo industrial para su control seguro y preciso sobre servo-accionamientos

COMPONENTE	DESCRIPCION	PRECIO APROXIMADO
PLC S7-1500H PN	Controlador programable lógico	\$7000-\$8000
SERVOMOTOR	Servomotor para controlar posición	\$900-\$1500
HMI TP1200 COMFORT	Pantalla con características para control remoto y local	\$2500-\$3000
VARIADOR S120	Controlar la velocidad de los servomotores	\$2700-\$2900
CU320-2 PN	CPU del sistema	\$800
ET200Eco	Dispositivo para conectar las señales con el controlador	\$500-\$600

Tabla 2 Costos aproximados de los equipos seleccionados

SITOP PSU300S	Fuente de voltaje AC trifásica 24VDC/40A	\$600-\$700
SITOP PSU8200S	Fuente de voltaje AC trifásica 24V DC/20A	\$400-\$450
SITOP RED1200	Pantalla con características para control remoto y local	\$300-\$400

Tabla 3 Costos aproximados de los equipos seleccionados

3.5 Problemas y limitaciones

Durante el desarrollo del proyecto se presentaron algunos desafíos a ser tratados para lograr que el sistema funcione de la forma más eficaz posible. Estos problemas y limitaciones son detallados a continuación. Primeramente, se tuvo que prever las interferencias electromagnéticas, en entornos industriales, la presencia de maquinaria pesada y componentes electrónicos tienen una alta posibilidad de generar interrupciones electromagnéticas la cual puede afectar la comunicación entre el HMI y el servosistema lo cual podría causar pérdidas de señales o comportamientos erráticos. Una solución sugerida a este posible problema fue la implementación de cables apantallados para la comunicación para así lograr disminuir al mínimo el riesgo de interferencias.

Otro desafío igual de importante fue la de asegurar la continua alimentación del sistema en caso de que la fuente de alimentación principal entre en falla. En sistemas industriales críticos para la industria, como lo es el control de servomotores, la fuente de alimentación es de vital importancia que tenga una disponibilidad perfecta, ya que si esta falla, todo el sistema puede detenerse generando daño a los equipos o un mantenimiento no programado lo cual se traduce en tiempo perdido y gastos de mantenimiento. La solución más viable a esta problemática fue la instalación de un módulo de redundancia SITOP, el cual permite la conexión en paralelo de dos fuentes totalmente independientes una de otra, configurándolas para que una funcione inmediatamente después de que la fuente principal entre en falla. Esta solución presenta una serie de ventajas tales como fácil integración al sistema, compatibilidad con cualquier fuente estándar de 24 V, asegura una alta disponibilidad de los equipos y una supervisión continua de ambas fuentes logrando así identificar fallas antes de que afecten al sistema. El proyecto también presenta una limitación en cuanto a las pruebas realizadas fuera de sitio puesto a que algunos parámetros como los límites de carrera, o velocidad máxima podrían no ser ajustados de forma correcta en un entorno final.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- El desarrollo de la interfaz gráfica automatizada para el control de servomotores ha demostrado ser eficaz. El sistema implementado, en conjunto con el servo accionamiento S120, permiten al usuario controlar las posiciones y velocidades del eje, cumpliendo así con los requisitos de precisión y exactitud. Además, la interfaz promete ser una herramienta de uso intuitiva y sencillo para el operador, lo que facilita la interacción con el sistema dentro de entornos industriales.
- La comunicación entre la interfaz y el servosistema mediante el enlace de las entradas de los bloques de programación de control de movimiento permitió una sincronización eficiente de los movimientos de los servomotores según las ordenes que recibió por parte de la pantalla HMI, optimizando así, el flujo de datos rápido y de forma seguro entre cada uno de los componentes del sistema y asegurando una operación ininterrumpida lo cual aumenta la disponibilidad del sistema.
- Las pruebas realizadas durante cada una de las etapas del desarrollo del proyecto demostraron una mejora significativa en los aspectos críticos para el control de servomotores, velocidad y alta precisión en el movimiento del eje. Los resultados demostraron que el sistema es capaz de llevar una estabilidad operativa durante el tiempo de operación, incluso en condiciones de alta demanda.

4.2 Recomendaciones

Una vez finalizada la implementación del proyecto se evidenciaron las siguientes recomendaciones y posibles mejoras para un mejor desempeño del sistema:

- Dado que se trata de un sistema en el cual la disponibilidad de los equipos es muy importante a nivel industrial, se sugiere añadir una red de comunicación redundante, por ejemplo, redundancia en anillo, ya que así, de presentarse un fallo en algunas de las conexiones, la señal puede ser redirigida a través de otro camino del anillo asegurando la continuidad en la comunicación entre los equipos logrando garantizar la continuidad de operación.
- Previo a futuras pruebas que se vayan a realizar con equipos fuera de sitio se recomienda la implementación de finales de carrera ya que así se logrará simular con mayor precisión un entorno industrial real, donde los límites físicos para el movimiento de los servomotores son primordiales para prevenir daños en los equipos. Así, se contribuirá a mejorar la seguridad al prevenir sobrecargas o movimientos fuera de rango.
- La optimización de la interfaz gráfica con opciones más avanzadas de análisis y visualización de datos en tiempo real podría contribuir a una mejor control y monitoreo del estado de la maquinaria. Debido a esto se recomienda gráficos de tendencias, o inclusive la instalación de un sensor de temperatura e indicadores en el HMI de alertas para evitar fallar por sobrecalentamiento. Esto permitiría a los usuarios monitorear de una mejor forma el desempeño de los equipos y prevenir fallos mayores.

Referencias

- [1] P. F. H. González, I. C. T. Rodríguez, y Z. I. B. Bautista, “Diseño de una interfaz hombre máquina para el monitoreo de un servosistema”, *Unam.mx*. [En línea]. Disponible en: https://virtual.cuautitlan.unam.mx/CongresoCiTec/Memorias_Congreso/Anio1_No1/10/ID-15.pdf.
- [2] P. de AdvancedMotionControls, “Qué es el Servomecanismo: Definición de servosistema, historia, componentes y aplicaciones - ADVANCED Motion Controls”, *ADVANCED Controles de movimiento*, 23-may-2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.a-m-c.com/es/servomecanismo/>.
- [3] *Dcsmodule.com*. [En línea]. Disponible en: https://es.dcsmodule.com/what-is-a-servo-controller_n44.
- [4] “Qué es un PLC, para qué sirve y cómo funciona”, *aula21 | Formación para la Industria*, 15-nov-2019.
- [5] F. I. De, “Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos”, *Siemens.com*. [En línea]. Disponible en: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:c8369d35-f6e1-4893-a70b-4ccbc0e007bc/version:1580155238/lista-de-precios-siemens-ecuador-2020.pdf>.
- [6] “¿Qué es un servo drive?”, *Cinselmatic*, 08-abr-2024. [En línea]. Disponible en: <https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/>.

- [7] “Siemens sinamics S120 Servo Drive, 3 - Phase”, *indiamart.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/siemens-sinamics-s120-servo-drive-26314533697.html?mTd=1>.
- [8] *Siemens.com*. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/834/12403834/att_347/v1/et200eco_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf.
- [9] “¿Qué es un sensor de proximidad inductivo?”, *Com.mx*. [En línea]. Disponible en: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/>.
- [10] Encoder Products Company, “¿Qué es un Encoder?”, *Encoder.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.encoder.com/article-que-es-un-encoder>.
- [11] “PROFINET: ¿Qué es y cómo funciona? - Cursos Centro de Entrenamiento Internacional de PROFIBUS & PROFINET”, *Cursos Centro de Entrenamiento Internacional de PROFIBUS & PROFINET*, 15-nov-2023. [En línea]. Disponible en: <https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/>.
- [12] *Festo.com*. [En línea]. Disponible en: https://www.festo.com/es/es/e/journal/learning/tia-portalid_828990/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20herramienta%20TIA,automatizaci%C3%B3n%20de%20un%20proceso%20industrial.

Apéndice

1. Operación del HMI

Para entrar en la pantalla más simplificada del modo remoto se debe seleccionar el botón “Remoto” del panel principal.

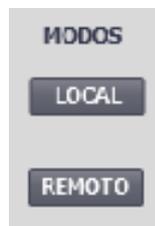


Ilustración 33 Selección de Modo a operar

Una vez este se selecciona, se abrirá una pantalla en la que tendremos un botón de paro por si se desea detener el modo activo. Además, se tienen indicadores del posicionamiento actual de los motores tanto en ronza como en elevación, así como la velocidad y aceleración que tienen. Esta pantalla es específicamente para monitoreo debido a que en modo remoto no se permite manipular de manera manual el movimiento.

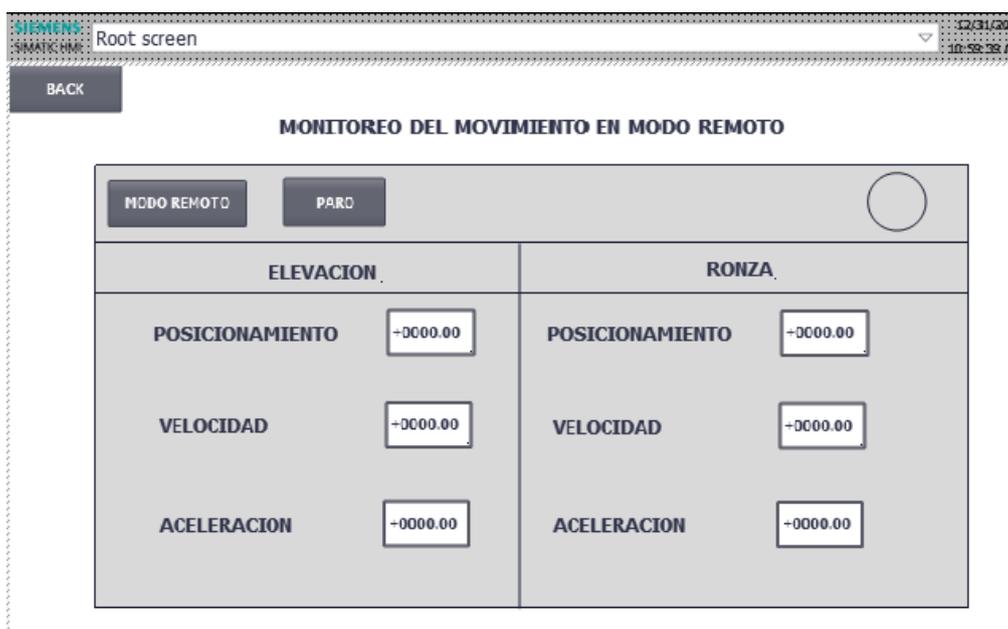


Ilustración 34 Pantalla del modo Remoto

2. Forma Local

Para el manejo local de los servomotores, en el panel principal se debe presionar el botón “LOCAL”. Una vez este se encuentre activo, se visualizará el indicador en color verde. En el apartado de “MODOS” si presionamos Local, se abrirá una pantalla en la cual podremos observar botones para darle marcha y paro, además de diferentes maneras de controlar el movimiento de los servomotores.

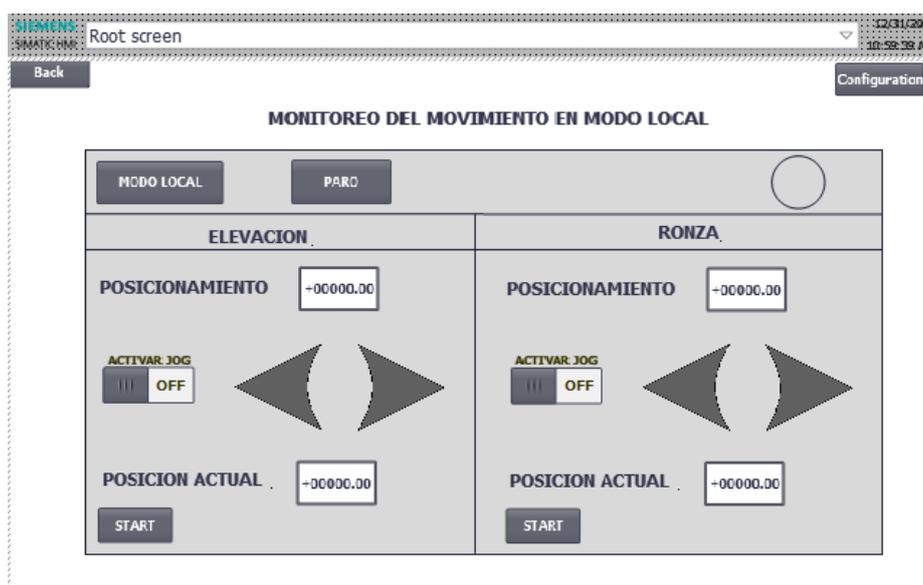


Ilustración 35 Pantalla del modo Local

En primer lugar, se observa un cuadro numérico en el cual se colocan los grados que se requiere posicionar los servomotores tanto la elevación como ronza. Al colocar una posición se debe presionar el botón “START” que se encuentra al final de cada apartado para poder activar el movimiento del motor. Con respecto al cuadro numérico denominado “Posición actual” se podrá observar en tiempo real el movimiento del motor.

Por otro lado, si se requiere realizar un jogeo, se deben accionar los switches que se encuentran tanto en elevación como ronza. Estos permitirán que al presionar las flechas se ejecute el movimiento deseado.

En la parte superior de la pantalla Local, se observa un botón de “Configuration”, este permite abrir una ventana como se muestra a continuación.

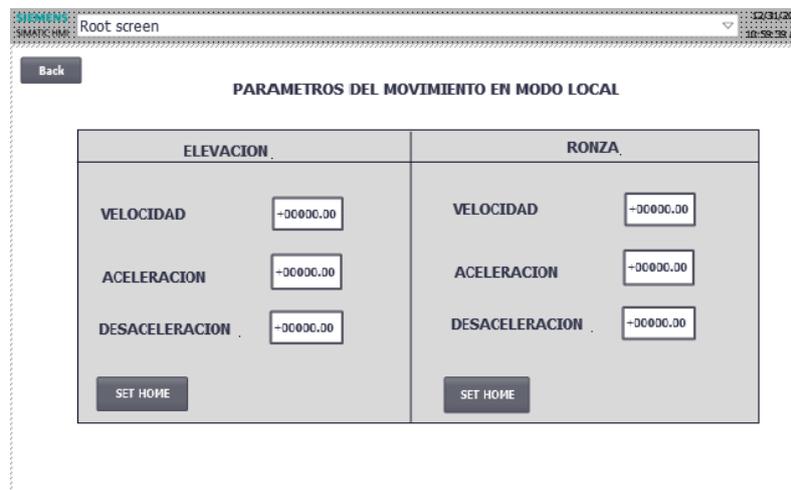


Ilustración 36 Pantalla de parámetros del modo Local

En esta ventana se encuentran parámetros para modificar como la velocidad de movimiento, la aceleración y desaceleración de los motores. Además, se le agregó un botón de “Set Home” para poder setear un punto de referencia a cero. Esta ventana le permitirá al operador modificar según las necesidades los datos de los parámetros antes mencionados.

Data sheet for SINAMICS S120 control unit CU320-2 PN



Article No. : 6SL3040-1MA01-0AA0

Client order no. :
Order no. :
Offer no. :
Remarks :

Item no. :
Consignment no. :
Project :

Inputs / outputs

Digital inputs	
Number	12
Voltage	-3 ... 30 V
Low level	-3 ... 5 V
High level	15 ... 30 V
Power consumption at 24 V DC, typ.	3.5 mA
Delay time L→H, typ. ¹⁾	50 µs
Delay time H→L, typ. ¹⁾	150 µs

Digital I/O	
Number of bidirectional, not potential-free inputs ²⁾	8

As input	
Voltage	-3 ... 30 V
Low level	-3 ... 5 V
High level	15 ... 30 V
Power consumption at 24 V DC, typ.	3.5 mA
Delay time L→H ¹⁾	5 µs
Delay time H→L ¹⁾	50 µs

As output

Environmental conditions

Installation altitude	2,000 m (6,561.68 ft)
Ambient temperature during	
Operation	0 ... 55 °C (32 ... 131 °F)
Storage	-25 ... 55 °C (-13 ... 131 °F)
Transport	-40 ... 70 °C (-40 ... 158 °F)
Relative humidity during	
Transport, max.	95 % at 40 °C (104 °F)

Connections

PE connection	1 (M5 screw)
Supply voltage, max.	2.5 mm ² (AWG 14)
Digital inputs, max.	1.5 mm ² (AWG 16)
Digital inputs/outputs, max.	1.5 mm ² (AWG 16)
DRIVE-CLiQ	4
PROFINET	2
PROFIBUS	--
RS232	1
Ethernet	1
Temperature sensor	--

Ilustración 37 Hoja de información técnica de unidad de control de CU320-2PN

Input	
type of the power supply network	DC voltage
supply voltage	
• at DC	12 ... 48 V
input voltage	
• at DC	10 ... 58 V
Output	
voltage curve at output	Controlled DC voltage
number of outputs	1
output voltage at DC rated value	24 V
formula for output voltage	$V_{in} - \text{approx. } 0.6 \text{ V}$
output voltage	
• at output 1 at DC rated value	24 V
product function output voltage adjustable	No
output current	
• rated value	40 A
product feature	
• bridging of equipment	No
Efficiency	
efficiency in percent	97.5 %
power loss [W]	
• at rated output voltage for rated value of the output current typical	25 W
• during no-load operation maximum	0.1 W
Safety	
galvanic isolation between input and output	No
operating resource protection class	Class III
protection class IP	IP20

Ilustración 38 Hoja de información técnica del módulo de redundancia de alimentación

Información general	
Versión funcional del HW	FS01
Versión de firmware	V5.1.x
• Es posible actualizar el FW.	Sí
Código de fabricante (VendorID)	002AH
Código de dispositivo (DeviceID)	0306H
Identificador del fabricante según ODVA (VendorID)	04E3H
Identificador del aparato según ODVA (ProductCode)	0FA8H
Función del producto	
• Datos de I&M	Sí; I&M0 a I&M3
• Modo isócrono	No
• Arranque priorizado	Sí
Ingeniería con	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrado desde versión	STEP 7 V17 o superior con HSP 0363
• PROFINET, versión GSD/revisión GSD o sup.	GSDML V2.3.x
• Multi Fieldbus Configuration Tool (MFCT)	desde V1.3 SP1
Modo de operación	
• DI	Sí
• Contadores	No
• DQ	Sí
• MSi	Sí
• MSO	Sí

Ilustración 39 Hoja de información técnica de periferia descentralizada ET200 eco

Designación del tipo de producto	TP1200 Comfort
Display	
Tipo de display	TFT
Diagonal de pantalla	12,1 in
Achura del display	261,1 mm
Altura del display	163,2 mm
Nº de colores	16 777 216
Resolución (píxeles)	
• Resolución de imagen horizontal	1 280 pixel
• Resolución de imagen vertical	800 pixel
Retroluminación	
• MTBF de la retroluminación (con 25 °C)	80 000 h
• Retroluminación variable	Si; 0-100 %
Elementos de mando	
Fuentes de teclado	
• Teclas de función	
— Nº de teclas de función	0
— Nº de teclas de función con LED	0
• Teclas con LED	No
• Teclas del sistema	No
• Teclado numérico	Si; Teclado en pantalla
• Teclado alfanumérico	Si; Teclado en pantalla
Manejo táctil	
• Variante con pantalla táctil	Si; Analógica resistiva
Ampliaciones para conducción de proceso	
• LEDs directos DP (LEDs como periferia de salida S7)	
— F1...Fx	0
• Teclas directas (teclas como periferia de entrada S7)	
— F1...Fx	0
• Teclas directas (botones táctiles como periferia de entrada S7)	40
Diseño/montaje	
Posición de montaje	vertical
Montaje en pared/directo	No
Montaje vertical (formato retrato) posible	Si
Montaje horizontal (formato apaisado) posible	Si
Máx. ángulo de inclinación permitido sin ventilación externa	35°
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	DC

Ilustración 40 Hoja de información técnica de la pantalla HMI

Rated data	
DC link voltage	DC 510 ... 720 V
Electronics power supply	DC 24 V -15 % / +20 %
Current demand, max.	0.80 A
DC-link current $I_d^{1)}$	36.0 A
Output current	
Rated value I_N	30.0 A
Base load current I_H	25.5 A
For S6 duty (40%) I_{S6}	40.0 A
I_{max}	90.0 A
Type rating ²⁾	
Based on I_N	16.0 kW
Based on I_H	13.7 kW
Rated pulse frequency	4.00 kHz
Current carrying capacity	
DC link busbars	200 A
24 V busbars ⁴⁾	20 A
DC link capacitance	705 μ F
Output frequency for servo control ⁵⁾	650 Hz

Ilustración 41 Hoja de información técnica del módulo de línea para el servomotor

Electrical data	
Input	
Number of phases	3 AC
Line voltage	342 ... 528 V
Line frequency	47 ... 63 Hz
Short-circuit strength ¹⁾	65 kA
Line power factor	
in Active mode	
Fundamental power factor cos phi 1 ²⁾	1
Total	1
in Smart Mode	
Fundamental power factor, minimal	.96
Total	0.65 ... 0.90
Overvoltage category	Class III
DC link voltage ³⁾	
at 380 V ... 400 V AC, factory setting	600 V
at 400 V ... 415 V AC, factory setting	625 V
DC-link voltage	1.35 x line voltage (Smart Mode)
Electronics power supply with DC	24 V (-15 % / 20 %)

Ilustración 42 Hoja de información técnica de módulo de línea activa